

火球に起因する微気圧振動波形

The Infrasound signals produced by a bolide on 20th January, 2013

岩國真紀子¹、新井伸夫¹、平松良浩²、石原吉明³、山本真行⁴、柿並義宏⁴、村山貴彦¹、野上麻美¹

¹一般財団法人 日本気象協会(連絡先:iwakuni_01@jwa.or.jp)、²金沢大学、³産業技術総合研究所、⁴高知工科大学

1. はじめに

火球は、地球の引力に引かれて大気を超音速で通過するとき、また、その際に受ける圧力に耐え切れず分裂(爆発)すると、衝撃波を発生させそれに伴う圧力変動が励起される。圧力変動は大気中を音速で伝播し微気圧振動観測計で捉えられる。

2013年1月20日2時42分頃(日本時間)、関東上空で非常に明るく光る火球が目撃された。

日本気象協会では、包括的核実験禁止条約(CTBT)のもとで全世界に展開されている微気圧振動監視観測網の観測施設の一つ、IS30の維持・管理を行っている。IS30は千葉県いすみ市に、気圧計(MB2000, Martec Tekelec Systems社製)6つからなる、約2km四方のアレイとして、展開されている(Figure1)。IS30では、気象条件が整うと、大気中や地中の爆発事象やロケットが超音速で飛ぶときに発生する圧力変動などを検出してきた。

今回の火球について、IS30で観測されているか、解析を行った。

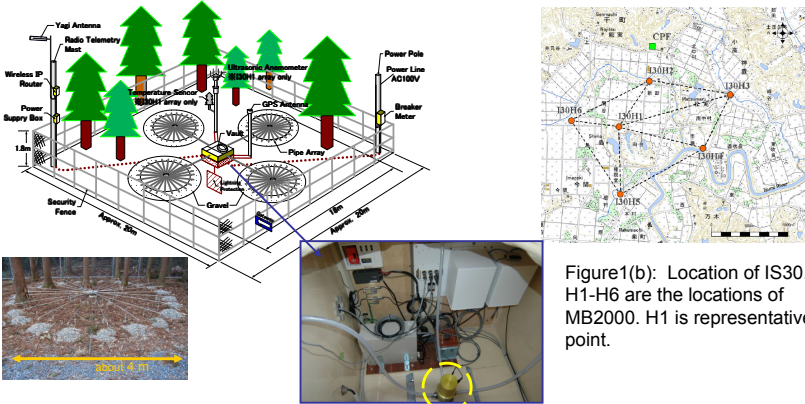


Figure1(a) Schematic chart of observation site. Yellow circle is a microbarograph(MB2000).

Figure1(b): Location of IS30. H1-H6 are the locations of MB2000. H1 is representative point.

<<<光学観測データによる解析結果>>>

火球は、大気圏のある高度の層に突入すると発光する。発光しながら分裂(爆発)し、途中で燃え尽きる、または地面まで達する。爆発する際に、ひと際明るく光る。火球の動きは流星観測用の超高感度カメラで記録され、複数の方角からの記録があると、火球の軌道を推定することができる。

「SonotaCo Network Japan」という天文団体のウェブサイトで火球を超高感度カメラでとらえた記録と、記録を元に推定された火球の軌道について議論されている。今回の火球についても議論され、『秩父上空100km程で大気圏に突入し、水戸方面に秒速20km程で飛行し、筑波山上空高度50km付近で爆発を繰り返し、大洗上空高度29km程まで発光しながら飛行』、『鹿島灘海上に落下』という軌道を進んだようである。



Figure5: First split up of bolide from Saitama by Mr. Sekiguchi.



Figure6: Bolide near for north-eastward camera from Tokyo by Mr. SonotaCo.

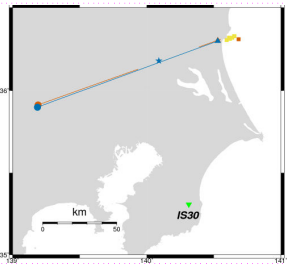


Figure7: Estimated trajectory of this bolide by highly sensitive camera for bolide. Red lines and symbols estimated by Mr. SonotaCo, administrator of website "SonotaCo Network Japan". Blue line and symbols by Mr. Ueda, Yellow symbols by Mr. Shiba. They are member of above-mentioned website. Circle: location, bolide started to shine. Star: bolide brightest location. Triangle: location, light vanished. Two results were almost same. Square: location, bolide expected to drop. Red square is one example. It was calculated under the assumption that remaining mass of bolide was 1 gram. Multiple yellow squares mean Mr. Shiba calculated points of bolide fall by changing conditions. Green inverse triangle: IS30.

謝辞

光学観測による軌道計算結果・落下地点は、SonotaCo Network Japan (<http://sonotaco.jp/>)に参加され流星を継続観測されている方々の記録を元に、SonotaCo Network Japanの方々が計算された値です。

今回の火球は関口孝志さん(埼玉県)・SonotaCoさん(東京都)・増澤敏弘さん(長野県)・野本都子さん(埼玉県)・島田康弘さん(千葉県)によってとられた記録を元に、SonotaCoさん・上田昌良さん・司馬康生さんの計算結果・議論を引用させていただきました。なお、火球についての全般的な情報収集などは下田力さんにご助力いただきました。

ここに記して感謝いたします。

2. 観測された微気圧振動波形データ

Figure2は2:42以降にIS30で見られた明瞭な微気圧振動波形である。正圧負圧のパルスが少なくとも3つ続く波群が6点全てで見られ、最初の正圧負圧パルスの振幅はPeaktoPeakで3Paあり、その周期は約0.5秒であった。波群が上空からではなく横(仰角=0°)からやってくる仮定の元で、波群同士を相互相関解析したところ、到来方向は北から356度(Figure3)、アレイを通り抜ける速度(見かけの伝播速度)は352m/secと決まった(Table1)。

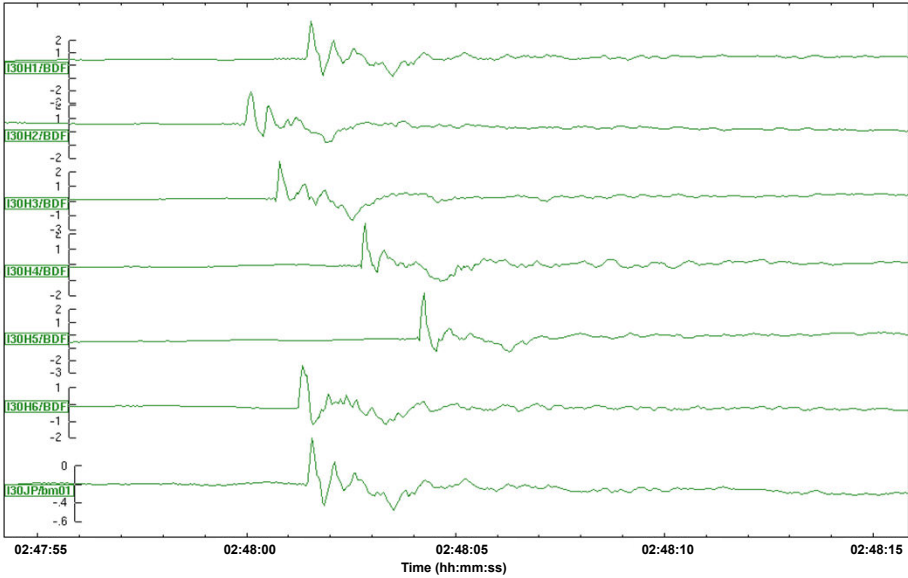


Figure2: Plain microbarograph records at IS30 after 2:42, the bolide above Kanto seen. The bottom record is beam. These records are no-filtered.

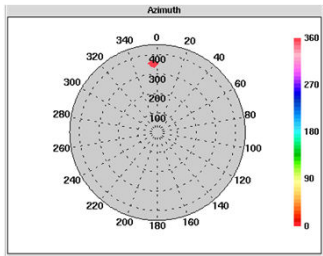
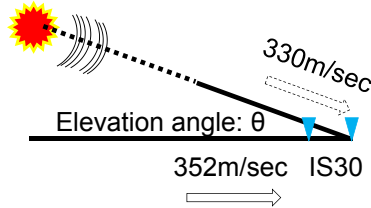


Figure3: Rader plot of back-azimuth of signals.

Table1: Parameters of the Infrasound Signal.

	IS30
Time (hh:mm:ss)	02:48:01.43
Back-Azimuth (deg)	356.05
Horizontal trace velocity (m/sec)	352
Dominant frequency (Hz)	2



$\theta = \arccos(330/352) = 20 \text{ deg}$

Figure4: Schematic diagram of elevation angle. Asterisk: bolide, inverse triangles: IS30 array.

IS30に一番近いアメダス観測点・茂原(IS30から358° 方向、12km)で2:20の気温は0.3℃であった。標準状態の乾燥大気を仮定すると音速は約330m/secである。よってIS30には仰角20° から波群が到来したと計算される(Figure4)。光学観測より、火球の分裂(爆発)場所は筑波山上空であること、IS30から筑波山まで100km程であることより、爆発高度は36km程度と推測される。

次に、気象庁の高層気象観測点・館野(筑波山から173° 方向、20km)の1月19日21時のデータ(Figure8)を元に、波群伝搬経路を推定した(Figure9)ところ、爆発発生から約6分後にIS30に波群到達するという結果になった。Figure2の波群の到達時刻は2時48分頃であり、これは火球が目撃された2時42分数秒過ぎに6分加えた時間と良く合う。

圧力変動波の最大振幅の周期から爆発の規模を推定する経験式(ReVella et al.[1980]、大気中の核実験より)がある。Figure2では最大振幅の周期0.5秒であったことより、今回の火球の爆発の規模は0.5tonsTNT相当と推定される。

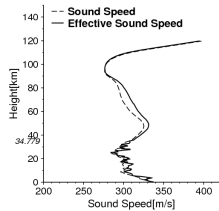


Figure8: Sound speed profile calculated using atmospheric conditions on January 19, 2013, at 21:00JST for Tateno under observable height by JMA radiosonde and empirical atmospheric model(CIRA96) about higher elevation.

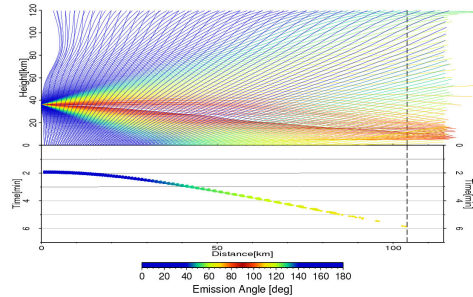


Figure9: Propagation of infrasound waves in the direction from Mt. Tsukuba to IS30. We assumed source height 36km.

3. おわりに

2013年1月20日2時42分過ぎに関東上空で目撃された火球による圧力変動波群をIS30で捉えた。IS30での到来方向と通り抜ける速度より求めた仰角と、光学観測で推定された火球の分裂(爆発)位置、筑波山上空、という情報を元に圧力変動波群の発生高度は36kmと推定された。また、発生高度36kmと、当日の高層気象データを用いて計算されるIS30への伝搬時間も観測結果と良い一致をみせた。なお、爆発の規模は0.5tonsTNT相当と推定された。

火球は大気を超音速で通過するときにも、火球が爆発するときにも、衝撃波が発生し、微気圧振動観測計で観測されると考えられるのだが、今回は爆発による圧力変動のみ観測された。これはIS30の位置によると考えているが、まだまだ分からない事が多いので解析事例を増やしたいと思っている。